

# X-RAY GENERATOR, DEVICE AND METHOD FOR EXPOSURE, AND DEVICE MANUFACTURING METHOD

**Publication number:** JP2003051398

**Publication date:** 2003-02-21

**Inventor:** KONDO HIROYUKI; MURAKAMI KATSUHIKO

**Applicant:** NIPPON KOGAKU KK

**Classification:**

**- international:** G21K1/00; G03F7/20; G21K5/02; H01L21/027;  
H05G1/02; H05G2/00; G21K1/00; G03F7/20;  
G21K5/02; H01L21/02; H05G1/00; H05G2/00; (IPC1-7):  
H05G2/00; G03F7/20; G21K1/00; G21K5/02;  
H01L21/027; H05G1/02

**- European:** H05G2/00P2; G03F7/20T12; Y01N4/00

**Application number:** JP20010239020 20010807

**Priority number(s):** JP20010239020 20010807

**Also published as:**



EP1298965 (A2)

US2003053588 (A1)

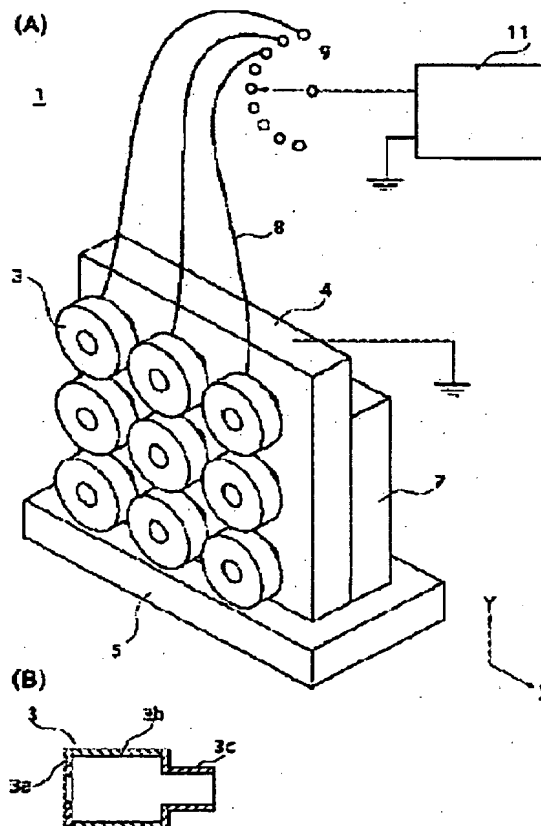
EP1298965 (A3)

[Report a data error here](#)

## Abstract of JP2003051398

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a discharge plasma X-ray source having a high output and a high repetition frequency and to reduce a thermal load applied to the discharge plasma X-ray source at the same time.

**SOLUTION:** This X-ray generator 1 is provided with a plurality of discharge parts 3 having positive and negative discharge electrodes for turning a target substance into a plasma state by discharge between the electrodes and radiating X-rays from the plasma. A base board 4 carrying the discharge parts 3 is mounted to a Y-axis stage 7 installed to an X-axis stage 5. According to movement of the stage, the electrodes in the discharge parts 3 discharge sequentially. In this way, a light emission frequency of the device as a whole is increased by a factor of the number of the discharge parts without any increase in the repetition frequency of discharge in each of the electrodes. Consequently, the light emission frequency can be greatly increased while a load applied to each of the electrode is lowered.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-51398

(P2003-51398A)

(43) 公開日 平成15年2月21日 (2003.2.21)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
H 0 5 G 2/00		G 0 3 F 7/20	5 0 3 2 H 0 9 7
G 0 3 F 7/20	5 0 3		5 2 1 4 C 0 9 2
	5 2 1	G 2 1 K 1/00	X 5 F 0 4 6
G 2 1 K 1/00		5/02	X
5/02		H 0 5 G 1/02	P

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 16 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-239020(P2001-239020)

(22) 出願日 平成13年8月7日 (2001.8.7)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 近藤 洋行

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号株式会社ニコン内

(72) 発明者 村上 勝彦

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号株式会社ニコン内

(74) 代理人 100100413

弁理士 渡部 温 (外1名)

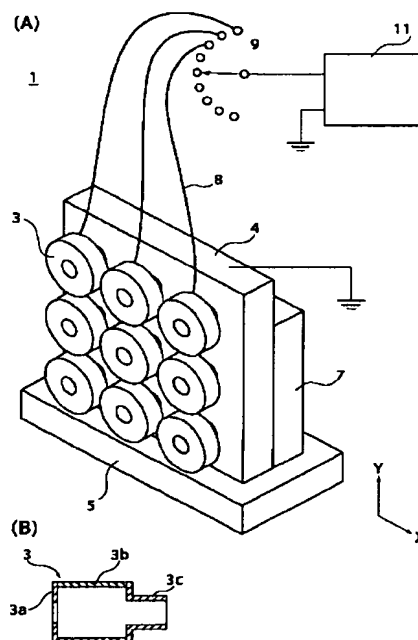
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 X線発生装置、露光装置、露光方法及びデバイス製造方法

(57) 【要約】

【課題】 放電プラズマX線源にかかる熱負荷を低減しつつ、高出力及び高い繰り返し周波数をもつ放電プラズマX線源を提供する。

【解決手段】 X線発生装置1は、正・負放電電極を有し、電極間の放電により標的物質をプラズマ化し、プラズマからX線を輻射する放電部3が複数個設けられている。放電部3が搭載された基板4はY軸ステージ7に設置され、Y軸ステージ7はX軸ステージ5に設置されている。ステージの移動により放電部3の電極を順に放電させる。これにより、個々の電極での放電の繰り返し周波数を上げなくても、装置全体の発光周波数は放電部の個数倍だけ高くなるため、一つの電極にかかる負荷を低く抑えつつ発光周波数を大幅に高くすることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 正・負放電電極を有する放電部と、  
該放電部に標的物質を供給する手段と、  
を具備し、  
前記電極間の放電により前記標的物質をプラズマ化し、  
該プラズマより X 線を輻射させる X 線発生装置であつて、  
前記放電部が複数箇所設けられているとともに、該放電部を順次作動させる手段をさらに具備することを特徴とする X 線発生装置。

【請求項 2】 正・負放電電極を有する放電部と、  
該放電部に標的物質を供給する手段と、  
を具備し、  
前記電極間の放電により前記標的物質をプラズマ化し、  
該プラズマより X 線を輻射させる X 線発生装置であつて、  
前記放電部が複数箇所設けられているとともに移動可能に構成されていることを特徴とする X 線発生装置。

【請求項 3】 正・負放電電極を有する放電部と、  
該放電部に標的物質を供給する手段と、  
を具備し、  
前記電極間の放電により前記標的物質をプラズマ化し、  
該プラズマより X 線を輻射させる X 線発生装置であつて、  
前記放電部が複数箇所設けられているとともに移動可能な構造体に搭載されていることを特徴とする X 線発生装置。

【請求項 4】 前記放電部を冷却する冷却機構が設けられていることを特徴とする請求項 1、2 又は 3 記載の X 線発生装置。

【請求項 5】 前記移動可能な構造体が回転運動する部材を備え、  
該回転運動部材上又は部材内に、前記放電部が搭載されていることを特徴とする請求項 3 記載の X 線発生装置。

【請求項 6】 前記放電部が 1 又は 2 以上の所定の放電位置に移動してきたときに、該移動してきた放電部の電極間で放電を起こす同期機構をさらに具備することを特徴とする請求項 2 又は 3 記載の X 線発生装置。

【請求項 7】 前記放電位置の放電部に予備電離を生じさせるための手段をさらに具備することを特徴とする請求項 6 記載の X 線発生装置。

【請求項 8】 正・負放電電極を有する放電部と、  
該放電部に標的物質を供給する手段と、  
を具備し、  
前記電極間の放電により前記標的物質をプラズマ化し、  
該プラズマより X 線を輻射させる X 線発生装置であつて、  
前記放電部が所定領域内を所定速度でスキャンしながら X 線輻射するスキャン機構を具備することを特徴とする X 線発生装置。

【請求項 9】 正・負放電電極を有する放電部、及び、  
該放電部に標的物質を供給する手段を有し、前記電極間の放電により前記標的物質をプラズマ化し、該プラズマより X 線を輻射させる X 線発生装置と、  
該 X 線発生装置から発生した X 線をマスクに当てる照明光学系と、  
該マスクから反射した X 線を感じ基板上に投影結像させる投影光学系と、  
を具備する露光装置であつて、  
前記 X 線発生装置の前記放電部が複数箇所設けられているとともに、該放電部を順次作動させる手段をさらに具備することを特徴とする露光装置。

【請求項 10】 正・負放電電極を有する放電部、及び、  
該放電部に標的物質を供給する手段を有し、前記電極間の放電により前記標的物質をプラズマ化し、該プラズマより X 線を輻射させる X 線発生装置と、  
該 X 線発生装置から発生した X 線をマスクに当てる照明光学系と、  
該マスクから反射した X 線を感じ基板上に投影結像させる投影光学系と、  
を具備する露光装置であつて、  
前記 X 線発生装置の前記放電部が複数箇所設けられているとともに移動可能に構成されていることを特徴とする X 線発生装置。

【請求項 11】 正・負放電電極を有する放電部、及び、  
該放電部に標的物質を供給する手段を有し、前記電極間の放電により前記標的物質をプラズマ化し、該プラズマより X 線を輻射させる X 線発生装置と、  
該 X 線発生装置から発生した X 線をマスクに当てる照明光学系と、  
該マスクから反射した X 線を感じ基板上に投影結像させる投影光学系と、  
を具備する露光装置であつて、  
前記 X 線発生装置の前記放電部が所定領域内を所定速度でスキャンしながら X 線輻射するスキャン機構を具備することを特徴とする X 線発生装置。

【請求項 12】 前記放電部が前記マスク上の照明領域に相関を有する位置に移動してきたときに、該移動してきた放電部の電極間で放電を起こす同期回路が含まれていることを特徴とする請求項 10 又は 11 記載の露光装置。

【請求項 13】 正・負放電電極を有する放電部に標的物質を供給し、前記電極間に放電を生じさせて前記標的物質をプラズマ化し、該プラズマより X 線を輻射させ、  
該 X 線を照明光学系を介してマスクに当て、  
該マスクから反射した光を投影光学系を介して感光基板上に投影結像させ、  
前記マスク上のデバイスパターンを前記感光基板上に転写する露光方法であつて、  
前記放電部を複数箇所設けるとともに順次作動させながら

ら露光することを特徴とする露光方法。

【請求項14】 請求項13記載の露光方法を用いるリソグラフィ工程を含むことを特徴とするデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、X線顕微鏡やX線分析装置、X線露光装置等のX線機器のX線源に使用されるX線発生装置に関する。また、そのX線発生装置を使用したX線露光装置、X線露光方法、デバイス製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】放電プラズマX線源は、電極間の放電により電極材料あるいは電極の近傍に配置された標的物質をプラズマ化し、そのプラズマからX線を輻射させるものである。この放電プラズマX線源は装置構成が単純で小型であり、放出されるX線の量が多く、さらに、供給される電力に対するX線への変換効率が高く、効率的で低コストである。このような放電プラズマX線源としては、ZーピンチプラズマX線源、キャピラリ放電X線源、プラズマフォーカスX線源などの様々な形態が開発されている。

【0003】これらいずれのタイプの放電プラズマX線源においても、電極間に大電流を流して標的物質から高温のプラズマを生成させている。生成されたプラズマを流れた大電流は電極にも流れ込み、電極の抵抗により発熱し電極温度が上昇する。また、プラズマは電極の近傍で生成するため、プラズマからの輻射によっても電極が加熱される。ところで、軟X線領域の波長を発生させるプラズマ光源ではプラズマ周囲のガスによるX線の吸収を低減するため、光源部分をチャンバで囲んでその内を減圧状態としている。このため、加熱された電極から対流や熱伝導により熱を散逸させることができず、電極の温度上昇を助長している。

【0004】このような電極温度の上昇は、プラズマ生成の繰り返し周波数が高い場合は特に著しく、最終的には電極が溶融してしまい、プラズマ生成が不可能になるおそれがある。ところで、X線縮小露光装置においては、光学素子として使用される多層膜ミラーの反射率は60%程度とあまり高くないため、実用的なスループットを得るために高出力のX線源が必要となる。例えば、中心波長13.4nm、バンド幅0.3nmの波長領域には50～150WのX線が必要であると予想されている。そして、X線光源のパワーを上げるには高い繰り返し周波数を発揮できる放電プラズマX線源を開発することが課題となっている。また、マスク上で照明光をスキャンすることを想定すれば、露光フィールド内の露光量の均一性を高めるため、X線源は1KHz～10KHzの高い繰り返し周波数が必要になる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上述のように、X線縮小露光装置用の光源には高出力及び高い繰り返し性が要求される。しかし、従来の放電プラズマX線源は一つの放電部（一对の放電電極）しか有していないため、このような高い負荷の運転を行うと電極部が溶融してしまい、実用的でなかった。

【0006】本発明は以上の問題点に鑑みてなされたものであって、放電プラズマX線源にかかる熱負荷を低減しつつ、高出力及び高い繰り返し周波数をもつ放電プラズマX線源を提供することを目的とする。さらには、そのような放電プラズマX線源を使用した露光装置、露光方法及びデバイス製造方法を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の第1のX線発生装置は、正・負放電電極を有する放電部と、該放電部に標的物質を供給する手段と、を具備し、前記電極間の放電により前記標的物質をプラズマ化し、該プラズマよりX線を輻射させるX線発生装置であって、前記放電部が複数箇所設けられているとともに、該放電部を順次作動させる手段をさらに具備することを特徴とする。すなわち、放電部を複数設けて、これらの放電部の電極を順に放電させる。これにより、個々の電極での放電の繰り返し周波数を上げなくても、装置全体の発光周波数は放電部の個数倍だけ高くなるため、一つの電極にかかる負荷を低く抑えつつ発光周波数を大幅に高くすることができる。

【0008】本発明の第2のX線発生装置は、前記放電部が複数箇所設けられているとともに移動可能に構成されていることを特徴とする。本発明の第3のX線発生装置は、前記放電部が複数箇所設けられているとともに移動可能な構造体に搭載されていることを特徴とする。このX線発生装置においては、前記放電部が1又は2以上の所定の放電位置に移動してきたときに、該移動してきた放電部の電極間で放電を起こす同期機構をさらに具備することが好ましい。複数の放電部を移動させながら、例えば前記所定の放電位置に各放電部がきたときに放電させる。この放電部の移動を高速にすれば、個々の電極での放電の繰り返し周波数を上げなくても、装置全体の発光周波数は放電部の個数倍だけ高くできる。前記放電位置は決まった位置であるので、X線発生装置の光源としての位置がかわるようなことはない。なお、放電位置にきた放電部が、該放電位置で比較的短い時間（例えば1msec）の間に複数回（例えば10cycle）放電するようにしてもよい。

【0009】本発明の第3のX線発生装置は、前記放電部が複数箇所設けられているとともに移動可能な構造体に搭載されていることを特徴とする。放電部の移動を容易に行うことができる。

【0010】本発明においては、前記放電部を冷却する

冷却機構を設けることが好ましいと。放電後の電極を冷却することができ、放電部の劣化を低減することができる。

【0011】本発明においては、前記移動可能な構造体が回転運動する部材を備え、該回転運動部材上又は部材内に、前記複数の放電部が搭載されていることが好ましい。放電部を回転させて移動することにより、高速で移動することができ、移動機構も簡便になる。

【0012】本発明においては、前記複数の放電部に予備電離を行うための手段を設ければ、電極間の放電を安定に行うことができる。

【0013】本発明の第4のX線発生装置は、前記放電部が所定領域内を所定速度でスキャンしながらX線輻射するスキャン機構を具備することを特徴とする。X線をスキャンしながら照射することができ、スキャン式露光装置等の光源として好適である。この場合においても、放電位置にきた放電部が、該放電位置で比較的短い時間（例えば1msec）の間に複数回（例えば10cycle）放電するようにしてもよい。

【0014】本発明の露光装置は、上述のX線発生装置と、該X線発生装置から発生されたX線をマスクに当てる照明光学系と、該マスクから反射した光を感応基板上に投影結像させる投影光学系と、を具備することを特徴とする。本発明の露光装置又は放電装置においては、前記放電部が前記マスク上の照明領域に相関を有する位置に移動してきたときに、該移動してきた放電部の電極間で放電を起こす同期回路が、前記同期機構又はスキャン機構中に含まれていることが好ましい。露光装置全体のスループットが向上するとともに、照明光学系の構造を簡易にすることができる。

【0015】本発明の露光方法は、正・負放電電極を有する放電部に標的物質を供給し、前記電極間に放電を生じさせて前記標的物質をプラズマ化し、該プラズマよりX線を輻射させ、該X線を照明光学系を介してマスクに当て、該マスクから反射した光を投影光学系を介して感応基板上に投影結像させ、前記マスク上のデバイスパターンを前記感応基板上に転写する露光方法であって、前記放電部を複数箇所設けるとともに順次作動させながら露光することを特徴とする。

【0016】本発明のデバイス製造方法は、上記露光方法を用いるリソグラフィ工程を含むことを特徴とする。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しつつ説明する。図1（A）は、本発明の第1の実施の形態に係るX線発生装置の構成を模式的に説明する斜視図であり、図1（B）は図1（A）に示す装置の放電部の詳細を示す断面図である。このX線発生装置（放電プラズマX線源）1は、複数（この例では9個）の放電部3を備えている。放電部3はホローカソード型と呼ばれるタイプである。放電部3は、図1（B）に示すように、リング状

の電極3aと鐳付きチューブ状の電極3cを有する。両電極3a、3c間は絶縁チューブ3bが隔てている。チューブ3bの内部に、キセノン等の標的ガスを送って両電極3a、3c間で放電を起こすと、プラズマが発生しX線を輻射する。

【0018】放電部3は、方形の基板4上に、3個ずつ3列に配置されている。基板4はY軸ステージ7に固定されており、このY軸ステージ7はX軸ステージ5に固定されている。各ステージはステッピングモータ等によって各軸の方向に所定距離移動するように駆動される。これにより、基板4上に配置された放電部3をX軸及びY軸方向に所定の距離移動することができる。

【0019】各放電部3のカソード側は、接地された基板4に電氣的に接続されている。また、各放電部3のアノード側にはケーブル8が接続されている。各ケーブル8はスイッチ9を介して高圧電源11に接続している。

【0020】各放電部3は、X軸ステージ5又はY軸ステージ7を駆動させることにより所定の放電位置に移動される。ある放電部3が放電位置に移動すると、この放電部3のケーブル8に接続するスイッチ9をオンとして、高圧電源11から高電圧を印加し、プラズマを発生させてX線を放出する。所定時間印加後、スイッチ9をオフとし、電圧印加を停止する。そして、ステージを駆動させて、別の放電部3を放電位置に移動させる。そしてこの放電部のケーブル8に接続するスイッチ9をオンとして、高圧電源11から高電圧を印加してプラズマを発生させ、X線を放出する。所定時間印加後、スイッチ9をオフとし、電圧印加を停止する。

【0021】この動作を全放電部に対して行う。各放電部の放電順序は、任意に設定することができる。全放電部の個数をN個とし、放電位置を所定の1ヶ所とした場合、個々の放電部の繰り返し周波数（1シリーズ発光する際の発光数）を、装置全体の発光数の1/Nに低減できる。したがって、各放電部の熱負荷が緩和できる。また、各放電部の劣化度合いが小さくなるので、各放電部の放電電流を高くするなどして、より大きな出力を得ることができる。

【0022】上述の方法では、スイッチの切り替えによって放電位置にある放電部の電極に電圧を印加して放電させていたが、放電位置にある放電部にのみ予備電離を行い、この放電部のみが放電するようにしてもよい。このような予備電離においては、放電部のアノード電極を電氣的に共通（接続された状態）にすることができるため、切り替えスイッチを設ける必要がない。このため、装置の構造が簡易化される。この例では1つの基板上に複数の放電プラズマX線源が固定されていたが、個々の放電プラズマX線源が個々の移動機構（例えばステージ等）を有するようにしてもよい。

【0023】図2は、本発明の第2の実施の形態に係るX線発生装置の全体構造を示す一部断面図である。図3

は、図2のX線発生装置の放電部周辺の詳細を示す図であり、(A)は放電部を搭載した回転盤の正面図であり、(B)は放電部のキャピラリの側面断面図である。このX線発生装置95は放電部97に16個のキャピラリ放電X線源を採用している。

【0024】まず、放電部97及び回転盤（移動可能な構造体）100の構造を説明する。図3（A）に示すように、16個の放電部97は、中空円盤状の回転盤100に同心円上に配置されている。図2に示すように、回転盤100は中空状であり、2枚の対向する円形平板である円盤103、104と、これらの円盤103、104の外縁を掛け渡すように接続するリング状の環状壁107からなる。円盤103、104は銅等の金属製であり、環状壁107はSiC等のセラミックス製である。環状壁107は両円盤103、104間を電氣的に絶縁している。

【0025】放電部97は中空円筒状のキャピラリ101と、その両端に各々形成された環状アノード電極102aと環状カソード電極102cからなる。各キャピラリ101は、回転盤100の中空部100aを貫通して固定されている。キャピラリ101の端部の環状アノード電極102aは一方の円盤104に電氣的に接続しており、環状カソード電極102cは他方の円盤103に電氣的に接続している。

【0026】回転盤100の中空部100aには、整流板131が各円盤103、104と平行となるように配置されている。整流板131の径は各円盤103、104の径より小さい。整流板131の作用については後述する。両円盤103、104の中心には開口が形成され、この開口には中空円筒状の回転軸105、106

（図2参照）が固定されている。両回転軸105、106は両円盤103、104から両外方向に同軸上を延びている。両回転軸105、106内と回転盤100の中空部100aは連通している。

【0027】キャピラリ101は、一例でセラミックス（SiC）製で、内径2mm、外径5mm、長さ15mmである。各環状電極102a、102cはモリブデン製である。また、回転盤100の円盤103、104は銅製で、外径が150mm、環状壁105はセラミックス（ $Al_2O_3$ ）製である。回転盤100の高さは15mmである。各回転軸105、106は銅製である。各回転軸105、106は各回転盤103、104に溶接又は一体成形により固定されている。

【0028】次に、図2を参照して、図3の放電部が搭載された回転盤からなるキャピラリ放電X線源を使用したX線発生装置の構造を説明する。回転盤100は、真空容器108中に配置されている。回転盤100の円盤103から図の右方向に延びる回転軸105は、真空容器108内に設けられた台112上に、ベアリング111を介して回転可能に保持されている。円盤104から

左方向に延びる回転軸106は台114上に、ベアリング113を介して回転可能に保持されている。右方向に延びる回転軸105を支える台112及びベアリング111は金属製であり、台112は真空容器108に電氣的に接続している。一方、左方向に延びる回転軸106を支える台114はセラミックス製である。真空容器108は接地されているとともに、高圧電源129のマイナス電極に接続している。

【0029】回転軸105、106の両端は真空容器108を突き抜けて外部に延びている。回転軸105は磁性流体シール部109を介して真空容器108から右方向に突き出ている。この回転軸105の末端は、磁性流体シール部119を介して容器117に挿入されている。一方、回転軸106は磁性流体シール部124を介して真空容器108から左方向に突き出ている。磁性流体シール部124は絶縁部材110を介して真空容器108に取り付けられている。回転軸106の末端は、磁性流体シール部120を介して容器118に挿入されている。磁性流体シール部120は絶縁部材121を介して容器118に取り付けられている。各磁性流体シール部109、119、124、120は各回転軸105、106を、真空容器108及び容器117、118に対して気密かつ回転可能に保持する。

【0030】右側の回転軸105の真空容器108の外部に露出した部分には、接続部材（ギアやベルト等）128を介してモータ115が取り付けられている。モータ115の駆動により、回転軸105、106が回転し、回転軸に固定された回転盤100は軸中心の周りに回転する。一方、左側の回転軸106の真空容器108の外部に露出した部分には、高圧電源129のプラス側から延ばされた接触子116が接触している。

【0031】このような構成により、キャピラリ100の環状カソード電極102cは、円盤103、回転軸105、ベアリング111及び台112、真空容器108を介して接地される。一方、環状アノード電極102aは、円盤104及び回転軸106と電氣的に接続し、真空容器108及び容器118とは電氣的に絶縁している。そして、高圧電源129のプラス側から接触子116を介して回転軸106に印加された電圧は、円盤104を介して環状アノード電極102aに印加される。

【0032】左右の軸106、105の端部には、容器117、118が接続されている。容器117、118内には絶縁性の冷媒（この例では純水）が収容されている。2つの容器117、118は、真空容器108の外部で、ポンプ122及び熱交換器123を介して連通している。このような構成により、次のような冷媒循環回路、容器118→回転軸106→回転盤100の中空部100a→回転軸105→容器117→熱交換器123→ポンプ122、が構成されている。ポンプ122を運転すると、容器118内の冷媒は回転軸106を通過

回転盤 100 の中空部 100 a に入り、他方の回転軸 105 を通って容器 117 に入る。さらに容器 117 から熱交換器 123 に送られて冷却される。ポンプ 122 の運転によって冷媒は連続してこの管路内を循環する。

【0033】冷媒が回転盤 100 の中空部 100 a 内に入ると、中空部 100 a 内に配置された整流板 131 に当って放射状外方向へ流れる。そして冷媒は回転盤 100 に同心円上に配置された各キャピラリ 101 の周囲を流れる。このとき各キャピラリ 101 を冷却する。

【0034】真空容器 108 中の回転盤 100 はカバー 124 で覆われている。カバー 124 はほぼ回転盤 100 と同じ形状で、回転盤 100 を覆う大きさを有する。カバー 124 は真空容器 108 に固定されている。回転盤 100 の回転軸 105、106 は、カバー 124 の中心に開けられた開口から両外方向に突き出ている。また、カバー 124 の両端面の一部には開口 133、135 が形成されている。開口 133、135 は、装置 95 の X 線放出位置（放電位置という）と同軸上に位置する。開口 133、135 と同軸上の、開口 135 の右側には予備電離光源 125 が備えられている。さらに、予備電離光源 125 の軸上前方（左方向）の真空容器 108 の壁には X 線放射窓が開いている。この X 線放射窓にはジルコニウム製のフィルタ 126 が備えられている。

【0035】この例では、予備電離光源 125 としてスパーク電極を使用している。予備電離光源 125 の発光のタイミングは、モータ 115 の駆動と同期している。すなわち、モータ 115 の駆動により回転盤 100 が回転して、同回転盤 100 に取り付けられた一つのキャピラリ 101 が、予備電離光源 125 及び開口 133、135 と同一軸上の放電位置に移動したときにスパーク放電が起こる。スパーク放電により発せられた紫外光や X 線は、予備電離光源 125 の正面以外のキャピラリに照射されないように開口の大きさと予備電離光源の出力窓の大きさが調節されている。

【0036】カバー 124 の側壁の一部はガス導入口 127 を介して、標的ガスが収容されるガスボンベ（図示されず）と接続している。この例では、標的ガスにキセノンを使用している。ガスボンベから供給される標的ガスは、ガス導入口 127 からカバー 124 内に入り、キャピラリ 100 の円筒部内にも流れ込む。

【0037】フィルタ 126 の前方（図の左方）には、照明光学系（図示されず）や被照射物体（図示されず）が配置されている。ジルコニウム製フィルタ 126 を使用することにより、不要な X 線や可視光、紫外光をカットすることができる。さらに、フィルタ 126 は真空容器 108 と、次段（例えば照明光学系）の真空容器との圧力隔壁としても作用する。

【0038】この X 線発生装置の動作について説明する。最初に、標的ガスが、ガス導入口 127 からカバー

124 内に導入される。モータ 115 が駆動して、回転盤 100 内の 16 個のキャピラリ 101 の一つと、予備電離光源 125 が軸上に重なる放電位置に移動すると、予備電離光源 125 が発光する。このとき、予備電離光源 125 のスパーク放電により UV 光、DUV 光、X 線が発せられる。これらの電子線はキャピラリ 101 の内壁や、キャピラリ 101 内の標的ガス、環状電極 102 を照射し、光電子やイオンを発生させる。これが引き金となって、キャピラリ 101 内で放電が開始し、プラズマが生成され、このプラズマから X 線が輻射される。X 線は、カバー 124 の開口 135 から、真空容器 108 のフィルタ 126 を通って、被照射物に照射される。

【0039】モータ 115 は連続的に駆動しており、回転盤 100 も連続回転している。そして、放電が終了したキャピラリに隣接する次のキャピラリが予備電離光源 125 と軸上に重なる放電位置に移動すると、同様に予備電離が行われて X 線が放出される。このように、放出される X 線の量が所望の量に達するまでモータ 115 を駆動させて各キャピラリから順に X 線を放出する。この動作中、ポンプ 122 が運転され、回転盤 100 の中空部 100 a 内を冷却し、放電によって加熱されたキャピラリ 101 を冷却する。

【0040】なお、カバー 124 と真空容器 108 との連通部（回転軸とカバーとの隙間、及び、開口 135）はそれほど広くないため、カバー 124 内から真空容器 108 内への標的ガスのコンダクタンスは低く、標的ガスは真空容器 108 内に流れにくい。したがって、カバー 124 内に標的ガスを導入しても、真空容器 108 内の標的ガスの圧力は高くはならない。これにより、真空容器 108 内のカバー 124 外に存在する標的ガスによる X 線の吸収を少なくすることができる。また、標的ガスによりキャピラリの冷却を行うこともできる。

【0041】本実施例では、標的ガスを、カバー 124 の側壁、すなわち、回転盤 100 の側壁側（図の下方向）から導入しているが、回転盤 100 に直角な方向（左右方向）から導入してもよい。この場合、標的ガスの気流によってキャピラリ 101 内のガスの排出が促進され、放電によってキャピラリ 101 内に浮遊している不純ガスや不純粒子などを積極的に排出し、新たな標的ガスをキャピラリ 101 内に供給することができる。さらに、キャピラリ 101 内壁の冷却を効果的に行うことができる。

【0042】また、本実施例では、高圧電源 129 に直流電源を使用しているが、パルス充電や共振充電回路を使用してもよい。直流電源は構成が容易であるが、キャピラリ 101 や電極 102 に常に高電圧が印加され続けるため、何らかの原因（例えば、カバー 124 内を浮遊している金属微粒子など）により、放電位置以外の位置のキャピラリや円盤そのものが放電する可能性がある。そこで、パルス充電や共振充電回路を使用して、高電圧

が電極間に印加されている時間を短くし、電極間の電圧が最大になったときに予備電離光源が発光するように同期させるとよい。すなわち、キャピラリが予備電離光源と同軸上に並ぶ放電位置に移動したときに電極間の電圧が最大になるように充電回路の同期をとり、かつ、そのときに予備電離光源が発光するようにする。

【0043】また、本実施例では、予備電離光源125にパルス発光するスパーク放電を使用しているが、コロナ放電を使用してもよい。また、予備電離はパルスのでなくともよく、エキシマランプやRF（高周波）放電のように連続的に発光するものでもよい。連続発光光源の場合、キャピラリが予備電離光源の前方の放電位置に移動したときにキャピラリ内部が電離されて放電が開始する。このため、回転している基板との同期を取る必要がなく構成が容易になる。

【0044】図4は、本発明の第3の実施の形態に係るX線発生装置を説明する図であり、図4（A）はX線発生装置の全体構造を示す一部断面図であり、図4（B）は図4（A）のX線発生装置の放電部を搭載した回転盤の正面図である。このX線発生装置295の放電部297は、図3に示す放電部と構造が異なるが、他の構成要素は、図2のX線発生装置とほぼ同様の機能を有する。

【0045】この例の放電部297においては、キャピラリ298の環状アノード電極299aが取り付けられる円盤311がセラミックス製であるとともに、この円盤311に固定される回転軸302もセラミックス製である。なお、この場合、円盤311が絶縁性であるので、回転軸302は磁性流体シール部313、315を介して直接真空容器308、容器317に取り付けられてもよい。

【0046】環状アノード電極299aが固定された円盤311の外面には、金コート膜303が、各環状アノード電極に電気的に接続するように形成されている。この金コート膜303は、図4（B）に示すように、各キャピラリ298に対応して、環状アノード電極299aから円盤311の外端まで放射方向に延びている。

【0047】図4（A）、（B）の上部に示されている接触子305は、高圧電源（図示されず）のプラス側に接続されている。この接触子305は、真空容器308の外部からカバー307内に延びるように配置されている。接触子305の下端は、1つのキャピラリ298が放電位置に移動したときに、そのキャピラリ298の金コート膜303に接する。そして、該金コート膜303は、該キャピラリ298の環状アノード電極299aに電気的に接続しているので、高圧電源から接触子305に供給された電圧は、金コート膜303を介して環状アノード電極299aに印加される。なお、各キャピラリ298の環状カソード電極299cは、図の右側の銅製の円盤309に電気的に接続している。この円盤309は図1の例同様に接地されている。

【0048】上述の構成により、複数のキャピラリ298の中で、対応する金コート膜303が接触子305に接触する位置（放電位置）に移動した特定の一つだけに高電圧を印加することができ、確実に所望のキャピラリのみから放電を起こすことができる。したがって、図3に示す例のように、全キャピラリのアノード電極同士及びカソード電極同士が電気的に接続されている場合は異なり、何らかの原因（例えばカバー内を浮遊している金属微粒子などによる導通）が生じて、所望のキャピラリ以外のキャピラリが放電してしまうおそれがない。さらに、本実施例のように、放電部297の一方の電極を他の放電部と分離している場合には、高電圧が印加されている放電部でのみ放電が起こるので、予備電離光源を省くこともできる。

【0049】予備電離光源を使用する場合には、予備電離光源の電源や回路を、放電部を放電させる主放電電源あるいは主放電回路と別に設けてもよいし、主放電回路の一部に形成してもよい。

【0050】図5は、予備電離部が主放電回路に設けられた回路図である。この図においては、放電部410としてキャピラリ放電X線源を使用しており、図中には移動構造体上に取り付けられた1つのキャピラリを示している。放電部410はキャピラリ407と、キャピラリ407の両端に形成された環状アノード電極408aと環状カソード電極408cからなる。

【0051】直流高圧電源400から供給される電圧は、コイル401を通してコンデンサ402に充電される。コンデンサ402が所定の電圧まで充電されると、サイリスタ403にトリガを入力してサイリスタ403をオンにする。すると、予備電離部であるスパーク電極412の一方の電極404の電位が急激に上昇し、対向する電極405との間に電位差が生じる。この電極間の電位差が閾値を越えると、電極間で放電が起こる。この放電によってコンデンサ402に蓄えられていた電荷が、電極405に備えられたコンデンサ406に移行する。この電極間の放電により発せられた紫外線やX線がキャピラリ407内部の標的ガスやキャピラリ内壁、環状電極408に当たって標的ガスを電離させる。

【0052】過飽和リアクトル409は、スパーク電極412と放電部410間に配置され、コンデンサ406が充電されてその電圧が最大になったときに飽和し、インダクタンスが急激に低下するように設計されている。上述のように、スパーク電極412が放電すると、キャピラリ407の内部は予備電離され、同時にコンデンサ406が充電される。そして、コンデンサ406の電圧が最大になったとき、過飽和リアクトル409が飽和し、インダクタンスが低下して、キャピラリ407の環状電極408に電圧が印加され、キャピラリ407内で放電が開始される。

【0053】この例では、予備電離装置が簡素化できる



とともに、自動的に予備電離を行うことができる。このため、装置全体の構成が簡単になり、コンデンサの充電と予備電離のタイミングを自動的に取ることができる。

【0054】なお、過飽和リアクトル409の飽和時のインダクタンスが問題になる場合は、過飽和リアクトルを省いてもよい。また、スイッチング素子としてサイリスタ403を使用しているが、他の半導体素子（G B I TやF E T）やサイラトロンなどの放電スイッチであってもよい。

【0055】このような放電回路においては、不安定な放電を避けるため、主放電部のインダクタンスはできるだけ小さい方が好ましい。そのために、コンデンサと放電部との距離をできるだけ縮める必要がある。そこで、コンデンサを放電部が取り付けられる移動構造体に配置するのが最も好ましい。

【0056】図6は、コンデンサを移動構造体に取り付けた放電部の構造を説明する図であり、図6（A）は一部縦断面図、図6（B）は放電部を搭載した回転盤の正面図である。放電部517は、図3に示す放電部と同様に、回転盤500内に配置されている。放電回路は、図5と同じ回路が使用される。

【0057】回転盤500は中空状であり、2枚の対向する円形平板である円盤501、502と、これらの円盤501、502の外縁を掛け渡すように接続するリング状の環状壁519からなる。円盤501、502は金属製であり、環状壁519はS i C等のセラミックス製である。

【0058】円盤501、502及び各円盤501、502に固定されている回転軸503、504は金属（銅）製である。各キャピラリ505の環状アノード電極515aは円盤502に電気的に接続されており、環状カソード電極515cは円盤501に電気的に接続されている。環状カソード電極515cが取り付けられた円盤501は、回転軸503を介して接地されている。

【0059】円盤501の外面には、8個のコンデンサ506の一方の極が同心円上に取り付けられている。全コンデンサ506の他方の極は、回転軸503とは電気的に絶縁された環状の金属部材507で電気的に接続

（並列接続）されている。この金属部材507から、各キャピラリ505の環状カソード電極515cの上方にスパーク電極ピン508が延びている。また、円盤501の外縁部に沿って環状の絶縁部材509が配置されている。この絶縁部材509上面の、各キャピラリ505の放射状外方向に相当する位置には金属部材510が取り付けられている。金属部材510は、環状絶縁部材509の幅に渡って取り付けられている。さらにこれらの金属部材510から、各環状カソード電極515cの上方に、スパーク電極ピン511が延びている。したがって、各環状カソード電極515cの上方では、コンデンサ506から延ばされたスパーク電極ピン508と、金

属部材510から延ばされたスパーク電極ピン511が所定の空間を挟んで対向して配置される。

【0060】カバー（図示されず）の内の回転盤500の側方（図では上側）には過飽和リアクトル514が配置されている。過飽和リアクトル514の一方の極から、バネ状電極513（接触子）がアノード電極515a側の円盤502に接触するように延びており、他方の極からもバネ状電極512がカソード電極515c側の金属部材510に接触するように延びている。また、これらのバネ状電極512、513は、キャピラリ505が放電位置に移動したときに電流を供給できるように配置されている。

【0061】モータの駆動によって回転盤500が回転し、1つのキャピラリ505が放電位置に移動したとき、図6の放電回路におけるサイリスタ403をオンにする。すると上述のようにコンデンサ402（図5参照）に蓄えられていた電荷がバネ状電極512と金属部材510を介してスパーク電極ピン511（図5の符号404に相当）に移行し、コンデンサ506（図5の符号406に相当）に接続するスパーク電極ピン508

（図5の符号405に相当）との間で放電を起こし、8個のコンデンサ506）に蓄えられる。コンデンサ506に蓄えられた電荷は再びスパーク電極ピン508、511と過飽和リアクトル514（図5の符号409に相当）を介してキャピラリ505（図5の符号407に相当）のアノード電極515aに移行して、キャピラリ505内で放電してプラズマを生成し、X線を放出する。

【0062】スパーク電極ピン508、511間で放電を起こすのは、バネ状電極512が接触しているスパーク電極ピン511のみであるので、予備電離が起こるのはこのスパーク電極ピン511に接触している金属部材510に相当するキャピラリ505のみである。

【0063】なお、より完全に放電位置のキャピラリにのみ放電を起こすには、各予備電離用のスパーク電極ピンを絶縁性の衝立で隔離し、スパーク電極ピン間の放電により放出された紫外光やX線が隣のキャピラリに照射されないようにすればよい。さらに、各スパーク電極ピンの回りを絶縁性のカバーで覆うとさらに確実に放電を特定できる。このとき、カバーの内壁を鏡面にする、と、スパーク電極ピン間の放電によりキャピラリと逆方向に放出された紫外光などをカバー内壁でキャピラリ側へ反射させることができるため、より効率的に予備電離を行うことができる。

【0064】この例においては、円盤501上に取り付けられている8個のコンデンサ506を環状の金属部材507で電気的に並列接続したが、全てのコンデンサ506を並列に接続する必要はない。例えば、1つのスパーク電極ピン508に対して1個のコンデンサが接続されてもよく、1つのスパーク電極ピン508に対してコンデンサを2個ずつ並列接続されてもよい。

【0065】また、この例においては、コンデンサ402（図5参照）からコンデンサ506への充電時、及び、コンデンサ506から過飽和リアクトル514、キャピラリ電極を経た放電時には一對のスパーク電極ピン508、511を通して電流が流れる。この電流は大電流なため、長時間装置を運転するとスパーク電極ピンが溶融し、スパーク電極ピン間の間隔が大きくなり、予備電離や主放電が不安定になるおそれがある。また、溶融によってスパーク電極ピンの金属粉がカバー内を浮遊し、意図しないところで放電が起こるおそれがある。

【0066】そこで、予備電離を起こすのに十分なスパーク放電を発生させるためのコンデンサと主放電電流を流すためのコンデンサを別にしてもよい。この場合、スパーク放電用コンデンサの電気容量は主放電用コンデンサに比べてかなり小さく、スパーク電極ピン間を流れる電流は、1つのコンデンサを使用した場合に比べて小さくなり、スパーク電極ピンの劣化を大幅に低減することができる。

【0067】図7は、コンデンサを分けた場合の放電回路の回路図であり、図7（A）は予備電離光源がスパーク放電によるもの、図7（B）はコロナ放電によるものを示す。これらの回路は、図5に示す放電回路とほぼ同様の構成を有する。

【0068】図7（A）の放電回路において、サイリスタ600とスパーク電極620間に予備電離用のコンデンサ602が配置されている。サイリスタ600をオンにすると、コンデンサ601に蓄えられていた電荷がコンデンサ602に移行し、コンデンサ602の電位が上昇する。すなわち、スパーク電極ピン603の電位が上昇する。このとき他方のスパーク電極ピン604の電位は0である。コンデンサ602の電位が閾値を越えると、スパーク電極ピン603、604間で放電が起こり、コンデンサ605が充電される。コンデンサ602、605の電位が最大に達すると過飽和リアクトル606が飽和し、コンデンサ602、605に蓄えられていた電荷がキャピラリ607内の放電を介して流れる。このとき、キャピラリ607内の放電電流の大部分はコンデンサ602に蓄えられていた電荷によるものであり、スパーク放電電極603、604間のスパーク電流はコンデンサ605に蓄えられていたもののみとなる。このためスパーク電流の値は非常に小さい。

【0069】図7（B）の放電回路において、キャピラリ608のカソード電極614c側に金属メッシュ製電極609が配置されている。メッシュ電極609はカソード電極614cに対向するように配置されて接地されている。さらに、平面状の金属板611が、セラミックス等の絶縁板610を介して、メッシュ電極609と対向して配置されている。この金属板611は主放電用のコンデンサ612に接続されている。このような構成により、メッシュ電極609、絶縁板610及び金属板6

11により容量の小さいコンデンサ615が形成される。

【0070】サイリスタ613がオンになると、電流はコンデンサ612に流れるとともに、一部は金属板611にも流れ、コンデンサ615が充電される。コンデンサ615が閾値まで充電されると、メッシュ電極609と絶縁板610の間でコロナ放電が起こり、紫外光やX線を放出する。放出された紫外光やX線はキャピラリ608の内部を照射して標的ガスを電離して主放電を起こさせる。

【0071】コロナ放電はスパーク放電に比べて放電による微粒子や不純ガスの発生が少ないため、予備電離光源の寿命が長く、また、真空容器内に置かれた光学素子への不純物の付着や体積が少ない。なお、この回路において、予備電離用コンデンサのカソード側電極をメッシュ電極609としたが、アノード側電極をメッシュ電極としてもよい。この場合には、メッシュ製の電極がキャピラリに対向するように配置する。

【0072】上述した実施例においては、X線の放出位置は常に同じ位置であったが、複数の位置で同時にX線を放出してもよい。図8は、同時に3ヶ所でX線を放出できる放電部を搭載した回転盤の正面図である。この例の放電部705は、図4（B）に示した放電部とほぼ同様の構造を有するが、3つの環状アノード電極704aに電流を供給するための3つの接触子701が取り付けられている。各キャピラリ703の環状アノード電極704aには、放射状外方向に延びる金コート膜702が、各環状アノード電極704aに電気的に接続するように形成されている。高圧電源に接続する3つの接触子701は、3つのキャピラリ703が各々放電位置に移動したときに、それらキャピラリの金コート膜702に接触する。

【0073】予備電離は、3個の接触子701に金コート膜702を介して電気的に接続されている3個のキャピラリ703で起こる。したがって、これら3個のキャピラリ703内でのみ放電が起こってX線を発生させる。この場合、個々のキャピラリに1個ずつ予備電離光源を配置してもよく、1つの予備電離光源で3個のキャピラリを同時に予備電離させてもよい。例えば、個々のキャピラリにそれぞれ予備電離光源を配置する場合は、スパーク電極ピンを用いた予備電離光源が小型であり、適している。また、予備電離光源を共通にする場合は、発光領域の大きいRF放電、コロナ放電が適している。

【0074】同時に複数の放電部を放電させる場合、1つの放電部に電流が集中して流れ、同時に複数個の光源を発光させることが困難な場合がある。このような場合、複数の放電部のエネルギー蓄積部（コンデンサやコイル）を共通にするのではなく、放電部毎にエネルギー蓄積部を設ければよい。

【0075】また、本実施例では放電が起こるキャピラ

リが隣接していたが、1個おきや2個おきなど離れたキャピラリから同時にX線を放出してもよい。

【0076】図9は、本発明の実施の形態に係るX線露光縮小装置の構造を説明する図である。このX線露光縮小装置795は、X線発生装置800と、真空容器803内に配置された照明光学系804、マスク805、投影光学系806及びウエハ807等からなる露光装置を備える。

【0077】X線発生装置800は、図2のX線発生装置と同様のキャピラリ放電X線源が使用される。なお、この図は図2のX線発生装置の一部が省略されている。X線発生装置800の真空容器のX線放射窓は、照明光学系及び投影光学系等が収容された真空容器803に開口している。このとき、X線放射窓に備えられたフィルタ802は、X線発生装置の真空容器800と、次段の露光装置の真空容器803との圧力隔壁としても作用する。照明光学系804は、X線発生装置800の放電部の光軸上に配置される。この例のX線発生装置800は、標的ガスにキセノンを使用している。

【0078】X線発生装置800の放電位置に移動したキャピラリから放出されたX線801は、X線放射窓のフィルタ802を通して照明光学系804へ入射される。照明光学系804はMoとSiからなる多層膜ミラーで構成されており、波長が13.4nm近傍のX線のみを反射する。この照明光学系804で、マスク805を円弧状に照明し、各照明位置でのX線強度とNAが等しくなるように成形される。マスク805もMoとSiからなる多層膜ミラーで構成される。マスク805で反射したX線は投影光学系806で1/5に縮小されてレジストが塗布されたウエハ807上に投影される。このときマスク805に描画された回路パターンがレジストに転写される。投影光学系806もMoとSiからなる多層膜ミラーで構成される。

【0079】このX線露光縮小装置795のX線発生装置800は、上述のように複数の放電部が回転盤上に配置されたものである。そして、回転盤を回転させることによって、複数の放電部の1つを順に適用させてX線を放出している。このため、X線露光縮小装置全体の使用回数に対して、放電部の使用回数は、キャピラリ放電X線源の全個数分の1となる。したがって、X線発生装置を、放電部（この例ではキャピラリ放電X線源）が1個の場合に比べて、高い繰り返し周波数で使用することができる。このため、装置のスループットが向上する。

【0080】上述の実施例においては、X線の放出位置が一ヶ所に固定されていたが、放出位置を移動（スキャン）させてもよい。図10は、本発明の第4の実施の形態に係るX線発生装置を説明する図であり、図10

(A)はX線発生装置の全体構造を説明する図、図10

(B)は放電部を搭載した回転盤の正面図、図10

(C)は回転スクリーンの正面図である。この例のX線

発生装置895は、図2のX線発生装置とほぼ同様の構成を有するが、カバー905内に回転スクリーン903を備える点で異なる。この例では、図10(B)に示すスキャン領域901で放電部909がスキャンしながら発光する。このスキャン領域901は、例えば、X線露光縮小装置のマスク上の円弧状の照明領域に対応するもので、この例ではマスク上の照明領域の2倍の大きさである。この例によれば、マスク上の円弧状照明領域を端から端までを、所定の速度でスキャンすることができ

る。

【0081】予備電離光源902はコロナ放電によるものが使用される。コロナ放電は、上述のように、スパーク放電に比べて広い発光領域を有し、さらに、放電による微粒子や不純ガスの発生が少ない。このため予備電離光源の寿命が長く、真空容器内に置かれた光学素子への不純物の付着や体積が少ない。コロナ放電による予備電離光源902の発光領域は、円盤900のスキャン領域901とほぼ等しい。

【0082】カバー905内の、予備電離光源902と回転盤899の円盤900の間には、回転スクリーン903が配置されている。回転スクリーン903は例えばアルミニウム製であり、図10(C)に示すように、4つの開口911が同心円上に等間隔に形成されている。また、回転スクリーン903と円盤900はほぼ同じ径であり、4つの開口911と放電部909は、同心円状に配置されている。この回転スクリーン903の中心の開口から、回転盤899の回転軸913を取り囲む回転軸915が延びている。回転軸915には、回転盤899のモータ917とは別の回転駆動系（モータ）904が備えられている。なお、回転スクリーン用回転軸915の軸中心と回転盤用回転軸913の軸中心は同一であり、回転スクリーン903は回転盤899と同軸上を回転する。また、回転盤899を回転させるモータ917と回転スクリーン903を回転させるモータ904の回転周波数は異なっている。

【0083】次に、このX線発生装置895の作用について説明する。回転スクリーン903は、モータ917の駆動によって放電部909の1つがスキャン領域901の端に移動したときに、開口911の1つがこの放電部909と同軸上に移動するように、モータ904により回転する。回転スクリーン903の開口911と放電部909が同軸上に並んだときに予備電離が行われ、X線が放出される。さらに連続してモータ917が回転すると、別の放電部が、前回のX線放出位置からスキャン方向に僅かにずれた位置に移動する。このとき、回転スクリーン903は、別の開口911がこの放電部と同軸上に並ぶようにモータ904により回転する。そして、このキャピラリと開口が同軸上に並んだときに予備電離が行われてX線が放出される。このときのX線放出位置は、前回のX線の放出位置（スキャン領域の端）からわ

ずかにスキャン方向にずれた位置となっている。このようなタイミングとなるように各モータ917、904の回転速度を設定することにより、スキャン領域901の端から端までをスキャンすることができる。したがって、本実施例をX線露光縮小装置に使用した場合、マスク上を均一に照明することができる。なお、予備電離光源にはコロナ放電を使用しているため、発光領域が広く、予備電離光源902は固定されたままでよい。

【0084】この場合、スキャン領域901に合わせて、カバー905の開口や真空容器のX線放射窓の形状や大きさを変更している。

【0085】なお、この例においては、発光部のスキャン領域がマスクの照明領域と相似しているため、照明光学系はスキャン領域を単純に $1/2$ に縮小するだけでよく、照明光学系にスキャン機構を設ける必要がないため照明光学系の構造を簡単にできる。

【0086】発光部のスキャン領域の幅（スキャン方向に直角な方向の長さ）が、発光部の大きさ（キャピラリ内径の $1/2$ 程度）よりも大きい場合は、円盤の径方向にも発光部を移動できる機構を備えることもできる。このような機構としては、例えばX線発生装置895全体をリニアステージ上に載せ、円盤の径方向に移動させる。これにより、マスク上の照明領域のスキャン方向及びスキャン方向に直角な方向の全領域を照明することができる。

【0087】また、放電部を円盤の同心円上のみでなく、径方向に位置を変えて配置してもよい。さらに、照明光学系に収差などがある場合には、回転盤を回転軸方向に移動する機構を備えてもよい。

【0088】さらに、本実施例では、放電部の発光領域とマスク上の照明領域が相似していたが、必ずしも相似する必要はなく、何らかの相関関係があればよい。

【0089】円盤と回転スクリーンの回転速度は一定でなくてもよく、X線照射位置がスキャン領域内を適切にスキャンできるように回転速度を変化させてもよい。

【0090】さらに、発光領域で発光するプラズマ放電X線源が複数であってもよい。すなわち、図10(B)の発光領域内の2つ又は3つの放電部が同時に発光するようにしてもよい。複数の放電部が同時に発光することにより、マスク上の全照明領域をスキャンする時間を短縮することができ、スループットを向上できる。

【0091】上述の実施例においては、放電部としてキャピラリX線源を使用したか、ホローカソード型、Zピンチ型、プラズマフォーカス型などの種々の放電プラズマX線源を使用することができる。

【0092】また、上述の実施例においては、予備電離光源を使用しているが、個々の放電部が安定に放電できる機構を備えれば、予備電離光源を使用する必要はない。予備電離光源は、放電電極間での放電開始の引き金となるもので、電極間の放電のトリガを与える信号（例

えば高電圧パルスの印加）であれば、予備電離に限らず、どのような信号でもよい。さらに、複数の放電部が回転盤上に取り付けられていたが、放電部の移動方向は直線的や曲線的であってもよい。

【0093】放電プラズマX線源は長時間運転していると電極の劣化などにより、放電が不安定になったり、放出されるX線量が低下する。このため、電極などが劣化すると移動構造体（回転盤）ごと取り外し、新規のものと交換できるように回転盤がX線発生装置から取り外し可能であることが好ましい。これにより、放電プラズマX線源の交換を短時間で行うことができ、作業の能率が低下しない。

【0094】さらに、回転盤に取り付けられている個々の放電部が回転盤から取り外し可能となっていることが好ましい。回転盤をX線発生装置から取り外し、さらに回転盤から劣化した放電部のみを交換することができる。これにより回転盤を再利用することができ、装置全体のランニングコストが低減する。

【0095】さらに、回転盤の回転角をモニタする検出器（例えばフォトインタラプタなど）を用いて、回転盤の回転角度を一定に保ったり、回転速度が所定の周波数となるようにフィードバックすることもできる。また、この検出器からの信号を基にして放電回路のコンデンサの充電の開始や、予備電離あるいは放電電極間に放電を起こすトリガ信号を出力するようにしてもよい。このように、回転角から、回転盤の回転速度、充電、予備電離、トリガ出力の同期を取ることにより、所定の位置でのX線の発光をより確実に起こすことができる。

【0096】次に、図9のX線露光縮小装置を用いたデバイス製造方法を説明する。図11は、微小デバイス（ICやLSIなどの半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等）の製造フローを示す。ステップ1（回路設計）では、半導体デバイスの回路設計を行う。ステップ2（マスク製作）では、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。この時、パターンについて局部的にリサイズを施すことにより収差によるボケの補正を行ってもよい。

【0097】一方、ステップ3（ウェハ製造）では、シリコン等の材料を用いてウェハを製造する。ステップ4（酸化）では、ウェハの表面を酸化させる。ステップ5（CVD）では、ウェハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ6（電極形成）では、ウェハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ7（イオン打ち込み）では、ウェハにイオンを打ち込む。ステップ8（レジスト処理）では、ウェハに感光剤を塗布する。

【0098】ステップ9（X線露光）では、ステップ2で作ったマスクを用いて、X線転写装置によって、マスクの回路パターンをウェハに焼付露光する。その際、上述のX線露光方法を用いる。ステップ11（現像）では、露光したウェハを現像する。ステップ12（エッチ

ング)では、レジスト像以外の部分を選択的に削り取る。ステップ13(レジスト剥離)では、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。ステップ4からステップ13を繰り返し行うことによって、ウェハ上に多重に回路パターンが形成される。

【0099】ステップ14(組立)は、後工程と呼ばれ、上の工程によって作製されたウェハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程(ダイシング、ボンディング)、パッケージング工程(チップ封入)等の工程を含む。ステップ15(検査)では、ステップ14で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成しこれが出荷(ステップ16)される。

【0100】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明によれば、複数の放電プラズマ光源を使用しているため、個々のプラズマX線源にかかる熱負荷を低減しつつ、装置全体の出力を高く維持することができる。また、冷却機構を設けることによって放電電極への熱負荷をさらに低減することができる。このX線発生装置を使用することによって、スループットの高いX線露光装置及び露光方法、デバイス製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1(A)は、本発明の第1の実施の形態に係るX線発生装置の構成を模式的に説明する斜視図であり、図1(B)は図1(A)に示す装置の放電部の詳細を示す断面図である。

【図2】本発明の第2の実施の形態に係るX線発生装置の全体構造を示す一部断面図である。

【図3】図2のX線発生装置の放電部周辺の詳細を示す図であり、(A)は放電部を搭載した回転盤の正面図であり、(B)は放電部のキャピラリの側面断面図である。

【図4】本発明の第3の実施の形態に係るX線発生装置を説明する図であり、図4(A)はX線発生装置の全体構造を示す一部断面図であり、図4(B)は図4(A)のX線発生装置の放電部を搭載した回転盤の正面図である。

【図5】予備電離部が主放電回路に設けられた回路図である。

【図6】コンデンサを移動構造体に取り付けた放電部の構造を説明する図であり、図6(A)は一部縦断面図、図6(B)は放電部を搭載した回転盤の正面図である。

【図7】コンデンサを分けた場合の放電回路の回路図であり、図7(A)は予備電離光源がスパーク放電によるもの、図7(B)はコロナ放電によるものを示す。

【図8】同時に3ヶ所でX線を放出できる放電部を搭載した回転盤の正面図である。

【図9】本発明の実施の形態に係るX線露光縮小装置の構造を説明する図である。

【図10】本発明の第4の実施の形態に係るX線発生装置を説明する図であり、図10(A)はX線発生装置の全体構造を説明する図、図10(B)は放電部を搭載した回転盤の正面図、図10(C)は回転スクリーンの正面図である。

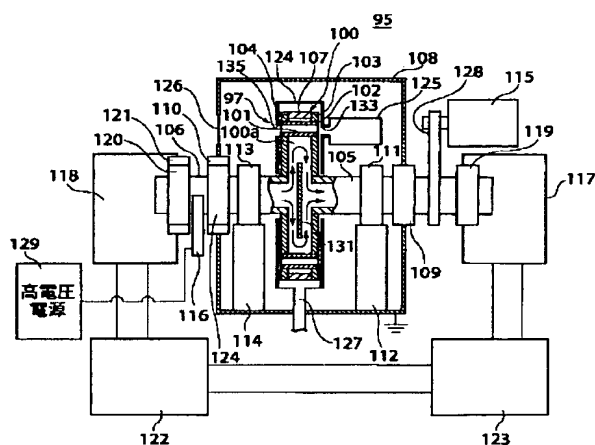
【図11】微小デバイス(ICやLSIなどの半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等)の製造フローを示す。

【符号の説明】

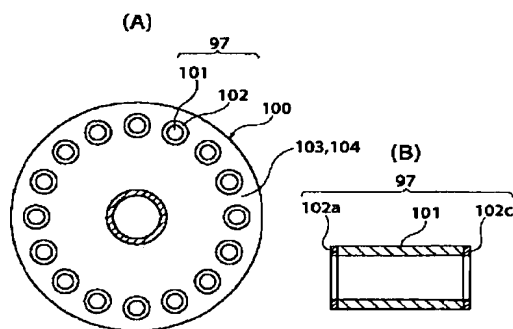
1 X線発生装置(放電プラズマX線源)	
3 放電部	4 基板
5 X軸ステージ	7 Y軸ステージ
8 ケーブル	9 スイッチ
11 高圧電源	95 X線発生装置
97 放電部(移動可能な構造体)	100 回転盤
101 キャピラリ電極	102 環状電極
103、104 円盤	105、106 回転軸
107 環状壁	108 真空容器
109、119、120、124 磁性流体シール部	
110、121 絶縁部材	111、113 ベアリング
112、114 台	115 モータ
116 接触子	117、118 容器
122 ポンプ	123 熱交換器
124 カバー	125 予備電離光源
126 フィルタ	127 ガス導入口
128 接続部材	129 高圧電源
131 整流板	133、135 開口
295 X線発生装置	297 放電部
298 キャピラリ電極	299 環状電極
302 回転軸	303 金コート膜
305 接触子	308 真空

容器		608	キャピラリ	609	メッ		
309、311	円盤	313、31	シュ電極				
5	磁性流体シール部		610	絶縁板	611	金属	
317	容器	400	直流				
高圧電源			612、615	コンデンサ	613	サイ	
401	コイル	402、40	リスタ				
6	コンデンサ		614	環状電極	701	接触	
403	サイリスタ	404、40	子				
5	電極		702	金コート膜	703	キャ	
407	キャピラリ	408	環状				
電極			704	環状電極	705	放電	
409	過飽和リアクトル	410	放電				
部			795	X線露光縮小装置	800	X線	
412	スパーク電極	500	回転	発生装置			
盤			802	フィルタ	803	真空	
501、502	円盤	503、50	容器				
4	回転軸		804	照明光学系	805	マス	
505	キャピラリ	506	コン				
デンサ			806	投影光学系	807	ウエ	
507、510	金属部材	508、51	ハ				
1	スパーク電極ピン		895	X線発生装置	899	回転	
509	絶縁部材	512、51	盤				
3	バネ状電極		900	円盤	901	スキ	
515	環状電極	517	放電				
部			ヤン領域				
519	環状壁	600	サイ	902	予備電離光源	903	回転
リスタ			スクリーン				
601、602、605	コンデンサ	603、60		904、917	モータ	905	カバ
4	スパーク電極ピン						
606	過飽和リアクトル	607	キャ	909	放電部	911	開口
ピラリ				913、915	回転軸		

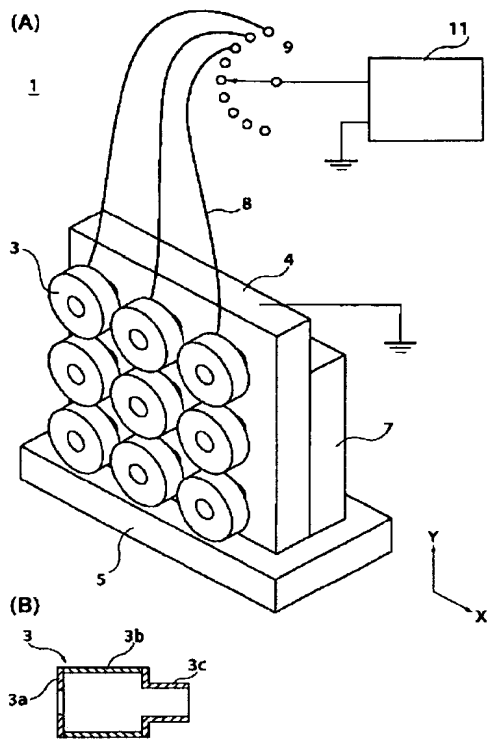
【図2】



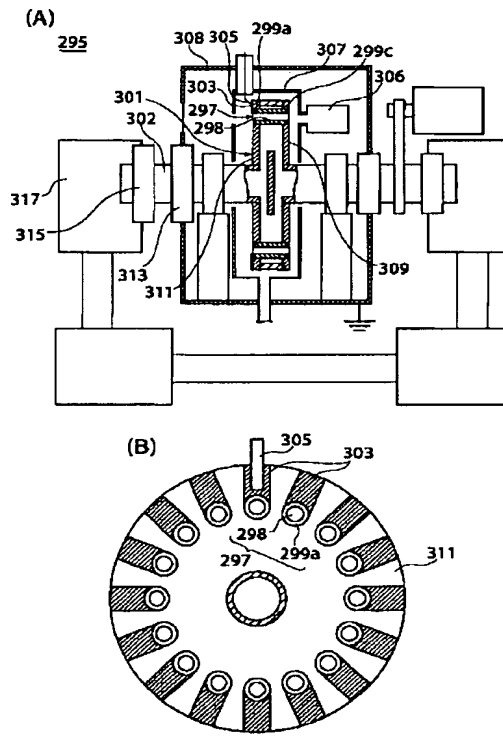
【図3】



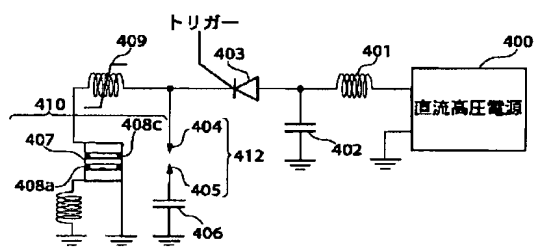
【図 1】



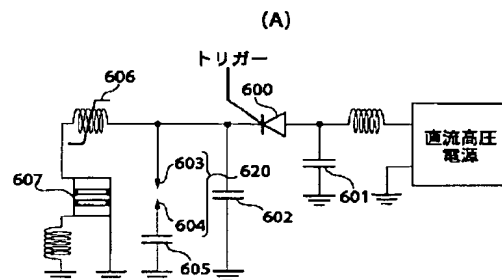
【図 4】



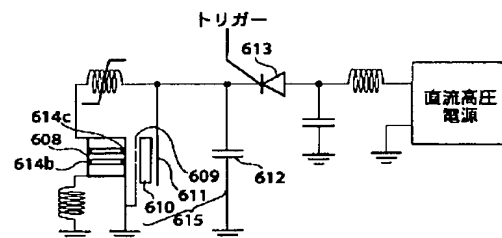
【図 5】



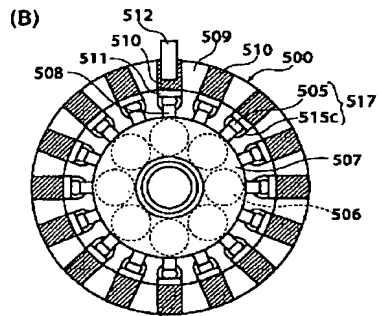
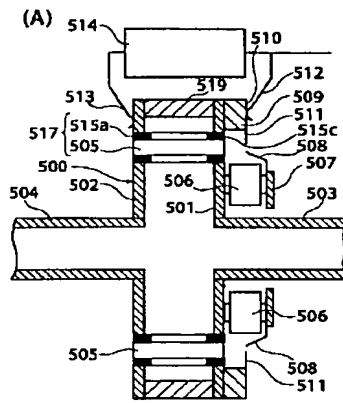
【図 7】



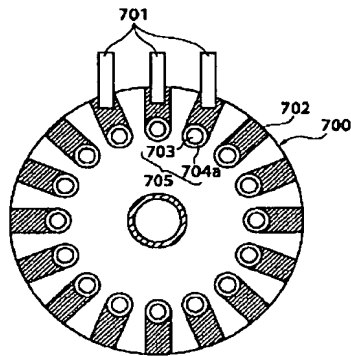
(B)



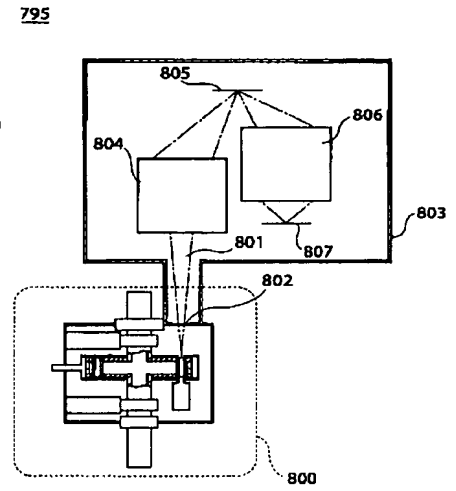
【図6】



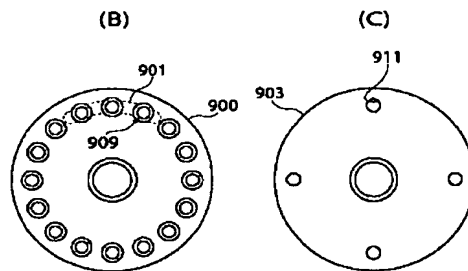
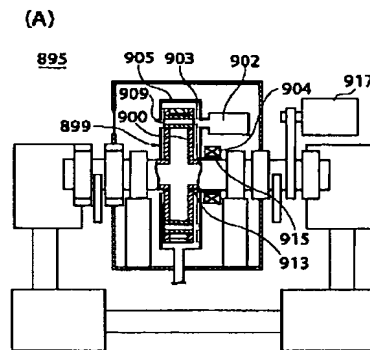
【図8】



【図9】

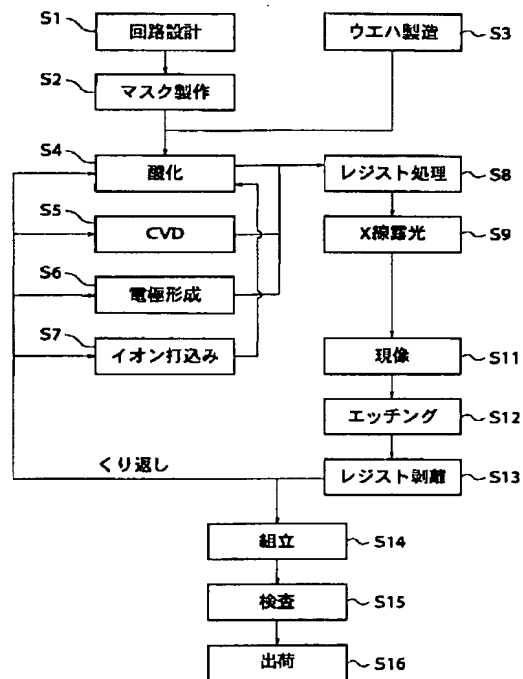


【図10】





【図11】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>

H 0 1 L 21/027

H 0 5 G 1/02

識別記号

F I

H 0 5 G 1/00

H 0 1 L 21/30

テーマコード(参考)

K

5 3 1 S

Fターム(参考) 2H097 CA15 LA10

4C092 AA04 AC09 BD17 BD20

5F046 GA07 GB01 GC02 GC03